



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta strojní



# **Systémy robot vision v automatické manipulaci**

## **Bakalářská práce**

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství  
*Autor práce:* **Dominik Ťok**  
*Vedoucí práce:* Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D.





## Zadání bakalářské práce

# Systémy robot vision v automatické manipulaci

*Jméno a příjmení:* **Dominik Ťok**  
*Osobní číslo:* S18000369  
*Studijní program:* B2301 Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* Strojní inženýrství  
*Zadávací katedra:* Katedra sklářských strojů a robotiky  
*Akademický rok:* **2018/2019**

### Zásady pro vypracování:

Současným trendem automatizace manipulačních procesů je aplikace systémů robot vision, kdy je lokalizace objektu manipulace řešena prostřednictvím kamery a získaná data o poloze jsou následně zpracována v řídicím systému robotu s možností automaticky adaptovat pohybovou úlohu. Cílem bakalářské práce je navrhnout a konstrukčně vyřešit laboratorní pracoviště, které bude zahrnovat základní rám, průmyslový robot, kamerový systém, efektor, úchopné prvky a periferie pro robotickou manipulaci s náhodně orientovanými objekty v rovině. Předpokládá se, že pracoviště bude využíváno pro výukové i výzkumné aktivity zaměřené do oblasti bezkontaktní detekce objektů v prostoru.

Úkolem Vaší BP bude:

1. Provést podrobnou rešerši robot vision systémů.
2. Ve variantách provést návrh koncepce laboratorního pracoviště se zaměřením na periferie pro náhodné pozicování objektu manipulace s možností automatického cyklování manipulační úlohy.
3. Pro navržený objekt manipulace realizovat parametrizaci průmyslové kamery.
4. Pro vybranou variantu konstrukčního řešení zpracovat výkresovou dokumentaci a provést základní pevnostní výpočty.
5. Závěrem specifikovat aplikační přínos navrženého řešení.

Rozsah grafických prací: vykresova dokumentace  
Rozsah pracovní zprávy: 30 – 40 stran textu  
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



### Seznam odborné literatury:

- [1] NOVOTNÝ, F., HORÁK, M. *Efektory průmyslových robotů*. TU v Liberci, 2015, 116 s., ISBN 978-80-7494-195-5.
- [2] NOVOTNÝ, F., HORÁK, M. *Konstrukce robotů*. TU v Liberci, 2015, 236 s., ISBN 978-80-7494-216-7.
- [3] Wolf, A., STEINMANN, R., SCHUNK, H. *Grippers in Motion*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005, 246 s., ISBN 3-540-25657-1
- [4] HOTAŘ, V. *Úvod do problematiky strojového vidění, část 1, Základní principy a hardware*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015, 132 s.
- [5] HOTAŘ, V. *Úvod do problematiky strojového vidění, část 2, Základy zpracování obrazu*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015, 132 s.
- [6] SONKA, M., HLAVAC, V., BOYLE, R. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. Pacific Grove: Books/Cole Publishing Company, 1998, 770 s.
- [7] Katalogy renomovaných výrobců chapadel.

Vedoucí práce: Ing. Vlastimil Hotař, Ph.D.  
Katedra sklářských strojů a robotiky  
Konzultant práce: Ing. Ondřej Matúšek, Ph.D.  
Katedra sklářských strojů a robotiky  
Datum zadání práce: 2. října 2018  
Předpokládaný termín odevzdání: 2. dubna 2020

L. S.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

doc. Ing. František Novotný, CSc.  
vedoucí katedry

V Liberci 2. října 2018

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

26. 6. 2019

Dominik Ťok

## **Systémy robot vision v automatické manipulaci**

### **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce se zabývá problematikou systémů robot vision v automatické manipulaci. Obsahem je řešení robot vision systémů po hardwarové i softwarové stránce, s důrazem na hardware. Praktická část práce řeší návrh prezentačního systému robot vision. V závěru jsou pak popsány možnosti využití a přínos bakalářské práce.

### **Klíčová slova**

Robot, vision, systémy, automatická, manipulace

## **Systémy robot vision v automatické manipulaci**

### **Anotation**

This bachelor thesis deals with robot vision systems in automatic manipulation. The content of the research is robot vision systems hardware and software, with emphasis on hardware. The practical part of the thesis deals with the design of the robot vision presentation system. In the conclusion there are possibilities of usage and contribution of the thesis.

### **Keywords**

Robot, vision, systems, automatic, manipulation

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce **Ing. Vlastimilu Hotaři Ph.D.** za pomoc při její realizaci, za čas strávený při konzultacích, cenné rady a v neposlední řadě za trpělivost.

Dále děkuji **Ing. Ondřeji Matúškovi** za srozumitelnou výuku, technickou pomoc, konzultace a celkovou podporu.

Poslední poděkování patří mé rodině a přátelům za psychickou oporu a porozumění.

## Obsah

1.	Robot vision systémy .....	11
1.1.	Základní principy robotického vidění.....	11
1.2.	Základní principy kamer.....	13
1.2.1.	Základní typy snímačů kamer.....	13
1.2.2.	Parametry kamer .....	15
1.2.3.	Provedení kamer .....	16
1.2.4.	Vyhodnocování obrazu z kamer .....	18
1.2.5.	Zpracování obrazu .....	19
1.2.6.	Objektivy .....	20
1.2.7.	Komunikační rozhraní .....	20
1.3.	Základní typy efektorů.....	21
2.	Rešerše robot vision systémů .....	22
2.1.	Samostatně dodávané kamery .....	22
2.2.	Kamera integrovaná na PR.....	27
2.3.	Vision systémy .....	28
2.3.1.	Vision systém založený na PC.....	28
2.3.2.	Vision systém samostatně.....	28
3.	Praktická část.....	30
3.1.	Varianty řešení.....	30
3.1.1.	Návrh 1: Auto jedoucí po dráze .....	30
3.1.2.	Návrh 2: Auto jedoucí po široké dráze .....	31
3.1.3.	Návrh 3: Kulička padající náhodnými prvky.....	31
3.1.4.	Návrh 4: Kulička padající do basketbalového koše.....	32
3.1.5.	Návrh 5: Výběr nejryhlejší dráhy .....	32
3.1.6.	Návrh 6: Kuličkodráha.....	32
3.1.7.	Výběr varianty .....	33
3.2.	Laboratorní pracoviště.....	33
3.2.1.	Průmyslový robot.....	34
3.2.2.	Kamerový systém .....	35
3.2.3.	Pracovní stůl .....	38
3.3.	Konstrukční návrh manipulační úlohy .....	39
3.3.1.	Konstrukční návrh držáku kamery a osvětlení.....	39

3.3.2.	Konstrukční návrh efektoru .....	39
3.3.3.	Konstrukce dráhy pro kuličku.....	41
4.	Programování průmyslového robotu a kamerového systému.....	42
4.1.	Komunikační program PR.....	42
4.2.	Program úlohy .....	44
4.3.	Parametrizace průmyslové kamery.....	46
5.	Aplikační přínos řešení.....	49
	Závěr .....	50



## **Seznam použitých zkratek a značek**

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
2D	Dvourozměrný
3D	Trojrozměrný
APS	Active Pixel Sensor
Al	Hliníkový
CCD	Charged-coupled device
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
fps	Frames per second
HW	Hardware
KS	Kamerový systém
KSR	Katedra sklářských strojů a robotiky
PC	Počítač
PR	Průmyslový robot
px	Pixel
SS	Souřadnicový systém
SW	Software
VS	Vision systém

## Úvod

Současným trendem automatizace manipulačních procesů je aplikace systémů robot vision. Lokalizace objektu a manipulace je řešena prostřednictvím kamery a získaná data o poloze jsou následně zpracována v řídicím systému robotu s možností automaticky adaptovat pohybovou úlohu. Tyto systémy začínají být hojně využívány v širokém spektru odvětví průmyslu, v některých případech jsou poté dokonce nezbytné k danému procesu. V blízké budoucnosti budou tyto systémy i moci bez kompromisů nahradit lidskou pracovní sílu v oblasti detekce a následné manipulace s objektem.

Cílem bakalářské práce je přiblížit problematiku robot vision systémů a konstrukce prezentačního systému, který bude sloužit jak pro zaujetí publika, tak k výzkumným a výukovým aktivitám.

Teoretické základy využití v rešerši a v praktické části jsou objasněny v první kapitole, která nejprve definuje robot vision a s ním spjaté technologie či vědy, tak jak jsou následně chápány ve zbytku práce. Tyto systémy jsou úzce spjaty s dostupným hardwarem a softwarem, který udává jejich limity. Zbytek kapitoly se zabývá základními principy daných problematik.

Následuje rešerše systémů a podsystémů robot vision. Jedná se o výtažek z komplexního průzkumu trhu, zejména firem zastoupených v České republice. Tyto dodavatele lze rozdělit do dvou základních skupin, dodávající kamerový systém samostatně nebo je kamera nabízena jako příslušenství k průmyslovému robotu.

V praktické části této práce jsou nejprve představeny jednotlivé návrhy či koncepty řešení cyklické úlohy následované výběrem konečné varianty. Navazuje popis laboratorního pracoviště s použitou sensorikou.

Konstrukční část práce spočívá v návrhu cyklické manipulační úlohy a s ní spojených úchopných prvků pro koncový efektor a úchop kamery.

Závěr práce rekapituluje předchozí kapitoly a jejich úskalí. Pojednává o výhodách a nevýhodách jednotlivých přístupů k robot vision systémům a shrnuje praktickou část práce.



pozice objektů na pracovní ploše). Počítačové vidění tedy využívá zpracování obrazu například na převedení obrazu z barevného na černobílý, následně binární a poté detekování objektů, které se na něm nacházejí.

Dalšími relevantními technologiemi jsou strojové učení a rozpoznávání tvarů. Tyto dvě technologie se zaměřují na rozpoznávání vzorů v datech, to je poté velice důležité pro mnoho pokročilých funkcí, které vyžadují robotické vidění. Například, abychom byli schopni rozpoznat určitý objekt z obrazu, musí software umět detekovat, zdali je tento objekt podobný nějakému předchozímu objektu. Proto by se dalo říci, že strojové učení (rozpoznávání tvarů) je nadřazené technologii počítačové vidění.

Ne všechny techniky počítačového vidění vyžadují strojové učení. Strojové učení můžeme také použít pouze na signálech (bez obrazů). V praxi jsou poté tyto dvě technologie poskládány takto: Počítačové vidění detekuje rysy a informace z obrazu, které jsou poté použity jako vstup pro algoritmy strojového učení (například, počítačové vidění detekuje barvu a tvar součásti a strojové učení na základě předchozího dobrého dílu rozhodne, zda jsou tyto součástky vadné či nikoliv).

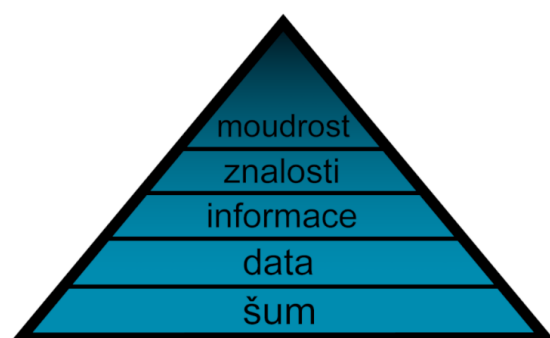
Strojní vidění se týká průmyslového využití vidění pro automatickou inspekci, řízení procesu a navigaci robota. Tímto se liší od předešlých technologií, protože zatímco předešlé technologie byly vědecké oblasti, strojní vidění se nachází v strojírenské oblasti.

Samotné robotické vidění pak zahrnuje techniky ze všech předchozích termínů. V mnoha případech se robotické vidění a strojní vidění používají zaměnitelně. Existuje však několik jemných rozdílů. Některé aplikace strojního vidění, jako je kontrola dílů, nemají nic společného s robotikou - součástka je pouze umístěna před snímač vidění, který hledá závady. Rovněž robotické vidění není jen strojírenskou oblastí. Jedná se o vědu se svými specifickými oblastmi výzkumu. Na rozdíl od počítačového vidění, musí také zahrnovat aspekty robotiky do svých technik a algoritmů, jako je kinematika, kalibrace referenčního rámce a schopnost robota fyzicky ovlivňovat prostředí [1].

Na závěr přikládám pomocnou tabulku (Tab. 1) s jednotlivými metodami. U každé z nich je napsán vstup a výstup pro jejich lepší pochopení. Dále pak pyramidu informační hierarchie (obr. 2), která koresponduje s hierarchií předešlých technologií a věd.

Tab. 1 Technologie/vědy uvedené v kapitole 1.1. U každé z nich je uveden vstup a výstup [1]

Metoda	Vstup	Výstup
Zpracování signálu	Např. elektrické signály	Např. elektrické signály
Zpracování obrazu	Obrazy	Obrazy
Počítačové vidění	Obrazy	Informace/rysy
Strojové učení a rozpoznávání tvarů	Informace/rysy	Informace
Strojní vidění	Obrazy	Informace
Robotické vidění	Obrazy	Fyzická akce



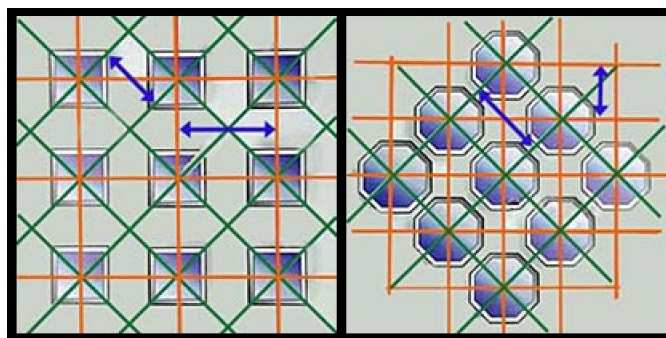
Obr.2 Tzv. DIKW pyramida informační hierarchie [2]

## 1.2. Základní principy kamer

Tato kapitola přibližuje problematiku kamer a seznamuje s dále využívanými principy.

### 1.2.1. Základní typy snímačů kamer

V současné době jsou využívány téměř výhradně snímače na fotovoltaiickém nebo fotovodivostním principu. Na tomto principu jsou založeny mimo jiné dva základní typy snímačů pro reálné průmyslové nasazení. Starší je označován CCD, mladší a v poslední době stále více používaný, CMOS APS. Za zmínku pak stojí i tzv. Super CCD čidla, která jsou vyráběna firmou Fuji. Rozdíl oproti klasickým CCD čidlům je v uspořádání jednotlivých buněk, které jsou blíže sebe a tím dosahují lepšího rozlišení.



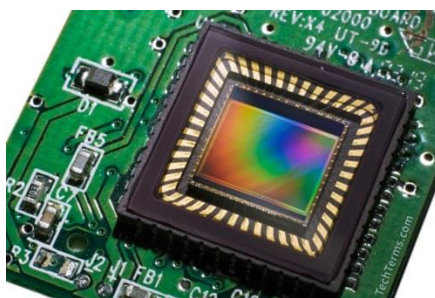
*Obr.3 Vlevo: CCD čidlo. Vpravo: Super CCD čidlo [3]*

#### 1) CCD snímač

V podstatě se jedná o posuvný registr vystavený působení světla. Každý snímač je složen z velkého množství (v řádu milionů) samostatných polovodičových miniaturních buněk zaznamenávajících světlo samostatně. Snímek se exponuje do izolovaných potenciálových jamek - miniaturních buněk, které jsou uspořádány do sloupců. Obrazy jsou pak tvořeny z bodů, pixelů.

#### 2) snímač CMOS APS

Snímače CMOS APS jsou na rozdíl od CCD snímačů, které jsou vyráběny podle technologie speciálně vyvinuté pro kamerový průmysl, založeny na standardní technologii CMOS hojně využívanou při výrobě paměťových čipů.



*Obr. 4 Snímač CMOS APS [4]*

Dnešní nejkvalitnější kamery používají téměř vždy snímače CCD vzhledem k jejich technologickému náskoku. CMOS APS jsou poté vhodné pro kamery, kde rozhoduje velikost a cena, jelikož tento snímač obsahuje vše, co je potřeba pro vytvoření kamery kolem nich. To vede k menším kamerám, které ovšem nedosahují takové kvality, jako kamery s CCD snímači. Ačkoliv CMOS APS snímače se začínají přibližovat v kvalitě

obrazu vytvořené CCD snímači, stále nejsou dostatečně citlivé na světlo, což je činí špatně použitelné v málo osvětlených prostorách a vzniká velké množství šumu.

Samotná konstrukce CMOS APS snímačů je podobná CCD snímačům, kde oba využívají fotoefektu k pořízení obrazu. Na rozdíl od CCD snímačů má ale každá buňka (pixel) svůj vlastní zesilovač a tím může být adresována a čtena pomocí její X, Y souřadnice. Toto vede k zrychlení pořízení záznamu, snižuje spotřebovanou energii a tím i produkci tepla. Největší využití mají pak v mobilních telefonech, díky jejich malé energetické náročnosti [5][6][7].

### **1.2.2. Parametry kamer**

Pro strojírenské úlohy jsou kamery vybírány podle mnoha parametrů, kde jejich důležitost závisí na konkrétním využívání. Mezi ty nejvýznamnější patří:

- rozlišení

Udává se v počtu pixelů na čipu s jednotkou Mpx (megapixel), kde čím větší je tato hodnota, tím větší rozlišovací schopnost obrazu získáme.

- snímací frekvence

Jednotka tohoto parametru je fps (frames per second) a udává počet pořízených snímků za jednu sekundu v plném rozlišení kamery. Konkrétní hodnota se pohybuje v rozmezí jednotlivých snímků až, u speciálních kamer, po několik tisíc snímků za sekundu. Jsou pak i technologie dovolující milionové hodnoty, ty však nejsou založeny na konvenčních snímačích.

- barevná škála

Může být buď monochromatická, nebo barevná, kde monochromatická je vhodnější při určování přesnějších tvarů snímaného objektu.

- rozsah barevného spektra

Různá světelná spektra jsou vhodná pro různé úlohy, například pro detekci průhledných materiálů jako je tabulka skla, je vhodné použití ultrafialových paprsků [8].

### 1.2.3. Provedení kamer

Na trhu je dnes k dispozici mnoho variací kamerových systémů, které se neustále vyvíjí a doplňují. Nejzákladnější rozdělení kamer lze provést podle tvaru snímacího prvku:

#### 1) Plošné kamery

Ty lze potom dále rozdělit:

##### a) standardní kamery

Upřesňují se dále dle různých parametrů rozebraných v předešlé kapitole.

##### b) inteligentní (smart) kamery

Základní myšlenka se nachází v integraci zpracování obrazu přímo do kamery, výstupem tedy není obraz, ale informace. Jsou to tedy kamery obsahující hardware na snímání obrazu a minipočítač na jeho zpracování, který je opatřen softwarem dodávaným od výrobce. Výhodou těchto kamer je pak kompaktnost či možnost náhrady za mnoho senzorů a čidel a tedy zjednodušení celého systému. Inteligentní kamery jsou dnes velmi rozvíjející se oblastí, hlavně po softwarové stránce [9] [10].

##### c) kamerové senzory

Kamerové senzory, někdy také nazývané jako video senzory, jsou z velké části shodné s inteligentními kamerami. Jedná se vlastně o jejich zjednodušenou verzi, proto je hranice mezi těmito dvěma druhy mizivá. Zjednodušení je jak v softwarové oblasti, tak v hardwarové. Výstupem potom bývá informace dobrý/špatný či ano/ne [11].

#### 2) Řádkové kamery

Snímací body tohoto druhu kamer jsou umístěny v rozmezí jedné až několika řad. Principem je snímání jen úzkého záběru, přičemž se pohybuje buď snímáný objekt, nebo sama kamera napříč zabíraným prostorem. Výsledný 2D obraz poté vzniká skládáním snímaných řádků synchronně s rychlostí dopravního pásu/kamery.

Výhodou této kamery je vysoké rozlišení, kvalita obrazu a velmi vysoká frekvence snímání. Nevýhodou těchto kamer je mimo jiné jejich omezené využití vzhledem k nutnosti zajištění konstantní rychlosti objektu vůči kameře. Příkladem je spojitý výrobek na dopravním pásu, popřípadě zařízení na principu scanneru v tiskárně [12] [13].





*Obr. 5 Smart kamera od výrobce SICK [14], kameorvý sensor od výrobce OMRON[15] a řádková kamera od výrobce BASLER[16]*

### 3) 2,5D kamery

V praxi se můžeme setkat s pojmem 2.5D kamera. Jedná se o standardní 2D kamery s dodatečným HW pořizujícím informaci o vzdálenosti. Často je takový systém označován jako fusion senzorika, neboli fúze dvou kamer / senzorů (lze aplikovat i pro jiné kombinace).

### 4) 3D kamery

Dnes se na pořízení 3D obrazu používají zejména tyto tři technologie [17]:

#### a) laserová triangulace

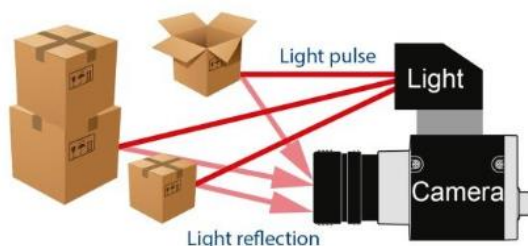
Tento systém se skládá z kamery s vysokorychlostním snímačem a liniového laseru (z horního pohledu na těleso dopadá úsečka světla) nebo osvětlení vytvářející na zkoumaném tělese mřížku. Tyto paprsky na povrchu tělesa vytvoří křivky, odpovídající tvaru povrchu tělesa, která jsou snímány kamerou a dále vyhodnoceny softwarem. Výhodou je velmi vysoká přesnost a rychlost skenování [18].



*Obr.6 3D kamera s laserovou triangulací [19]*

#### b) Time-of-Flight Kamera

Základní princip kamery spočívá v měření času, za který dorazí světlo vyzařené od kamerového systému a následně odražené od sledovaného objektu zpět do kamery. 3D obraz je tak pořizován ihned v reálném čase. Velikou výhodou je tedy možnost analyzovat objekt staticky, tedy že se nepohybuje ani předmět, ani kamerový systém. Nevýhodami jsou relativně malá přesnost, která je v rámci desítek mm a drahá pořizovací cena [20].



Obr. 7 Princip kamery Pulsed Time-of-Flight [20]

#### c) Stereo kamery

Tato technologie pracuje na principu dvou od sebe vzdálených kamer, kde software vyhodnocuje rozdíly mezi dvěma pořízenými snímky a z nich poté vytváří 3D data. Obtíže tohoto systému spočívají ve špatném rozeznávání objektů s monochromatickou texturou. Tento problém se dá řešit pomocí dodatečného osvětlení dodávající objektu lépe detekovatelnou texturu [21].



Obr. 8 ENSENSO 3D stereo kamera s vestavěným modulem na projekci textury [22]

#### 1.2.4. Vyhodnocování obrazu z kamer

Ve většině případů vyžaduje průmyslový robot po kameře údaj o poloze hledaného objektu. Stejně tomu bude i v této práci, kde robot, aby mohl správně uchopit daný předmět, potřebuje od kamery znát jeho přesné  $x$  a  $y$  souřadnice. Tyto informace jsou vyhodnocovány softwarově. Kde a jak jsou tyto údaje zpracovány lze rozdělit do dvou skupin:

### 1) Kamera + PC/VS

Kamerový systém se skládá ze samostatné kamery, která posílá informace ve formátu obrazů (tab. 1) a řídicího systému, který může představovat klasický počítač (PC), či tzv. vision systém. Ten potom na základě uživatelem definovaných kritérií zpracovává obrazová data zaslaná kamerou a dále je odesílá samotnému robotu.

### 2) Inteligentní kamery

Jak je již objasněno v kapitole 1.3.3. Provedení kamer, obraz je vyhodnocován přímo v kameře pomocí vestavěného minipočítače. Výrobce dodaný software lze pak parametricky upravovat pro požadovanou úlohu.

## 1.2.5. Zpracování obrazu

Hlavní vývoj kamerových systémů nastává právě v této oblasti. Extrahování informací z pořízeného obrazu je dnes hlavním úskalím RV systémů, na rozdíl od pořízení obrazu, které je již velmi dobře zvládnutelné pro běžné objekty (netransparentní a nelesklé). Tuto tematiku lze obrazně opět přiblížit pyramidou informační hierarchie (obr. 2).

### Transformace obrazu

Čidlo v kameře převádí optickou veličinu („šum“) na elektrický signál, který je dále pomocí A/D převodníku přetvářen na signál digitální reprezentovanou maticí  $U * V$  (souřadnice bodů či pixelů):

$$f = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,V-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(U-1,0) & f(U-1,1) & \cdots & f(U-1,V-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Takto získaný obraz (obrazová či jasová funkce) je téměř vždy pomocí transformační funkce upraven (jas, kontrast, barevná škála, odstranění šumu, ...) na výstupní obraz [23].

### Matematická morfologie

V robot vision je tato nauka o tvarech používána především v nástrojích pro hledání tvarů či těles v obraze [24].

### 1.2.6. Objektivy

Úkolem objektivu v kameře je promítnout světelné záření na snímač a může ho tvořit jedna čočka nebo celá soustava. Pomocí kroužku na objektivu je možné tento obraz zaostřit. V objektivěch bývá zabudována mechanická clona, která dovoluje regulovat množství světla, procházející objektivem.

Hlavním parametrem je ohnisková vzdálenost, která určuje pro danou velikost čipu úhel záběru a je pro většinu objektivů pro průmyslové aplikace konstantní. Objektivy lze rozlišit na tři základní skupiny:

- normální objektiv - úhel záběru je asi  $50^\circ$ , což je zhruba stejně jako úhel vnímání lidského oka, snímky pořízené takovým objektivem mají pro člověka nejpřirozenější perspektivu,
- širokoúhlý objektiv - ohnisková vzdálenost je kratší než u normálního objektivu, snímek má tím pádem širší záběr,
- teleobjektiv - jejich zorný úhel je užší (ohnisková vzdálenost větší), umožňuje vyplnit celý snímek i poměrně vzdáleným předmětem.

Za zmínku také stojí existence dalších, speciálních objektivů. Mezi ty patří například makro objektiv, ten umožňuje zaostření na menší vzdálenost než u běžných objektivů. Dále pak telecentrický objektiv, sloužící pro eliminaci perspektivy, je používán při naprosto přesném měření rozměrů a tvarů [25].

### 1.2.7. Komunikační rozhraní

Propojení kamery a řídicí jednotky (PC nebo průmyslový robot), případně vision systému a řídicí jednotky zajišťují různá komunikační rozhraní (interface). Základní rozdělení je na drátové a bezdrátové. V této práci se omezíme na používanou sériovou linku RS-232C a pro srovnání na Ethernet, USB 3.0 a Camera Link.

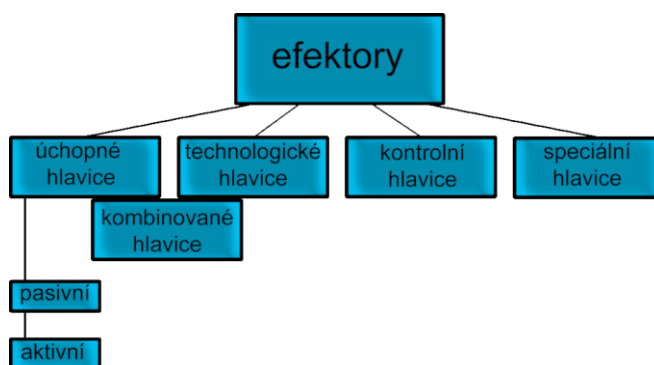
Používaná sériová linka RS-232C posílá jednotlivé bity dat jednotlivě za sebou a jedná se tak na rozdíl od Ethernetu či USB 3.0, atd., o zcela bezkolizní technologii. Pro srovnání přikládám tabulku znázorňující maximální přenosovou rychlost a maximální délku kabelu [26].

Tab. 2 Vybrané maximální hodnoty u vybraných rozhraní [26][27]

	Maximální přenosová rychlost [Mb/s]	Maximální délka kabelu [m]
Ethernet	10 000	100
USB 3.0	4800	30
RS-232C	10	1200
Camera Link	5 440	10

### 1.3. Základní typy efektorů

Efektor, neboli také výstupní či pracovní hlavička, je koncový člen PR propojující robotický systém a okolí. Je to výkonná část robotu přizpůsobená dané aplikaci, podle níž by se dala rozdělit následovně (Obr. 9):



Obr. 9 Základní rozdělení efektorů podle aplikace. Dělí se na hlavičky úchopné, technologické, kontrolní a speciální. Dále jsou pak hlavičky kombinované, které jsou kombinací hlaviček úchopných a technologických. Úchopné hlavičky se pak dají dále rozdělit na pasivní a aktivní [28]

Jelikož funkcí efektoru v praktické části je pouze uchopení předmětu, je tato podkapitola soustředěna pouze na úchopové hlavičky neboli chapadla. To je vždy uzpůsobeno konkrétnímu procesu (respektive jsou chapadla jednoúčelová a universální, které je možno použít pro vícero aplikací) a jejich rozdělení lze provádět z různých hledisek, která objasňují principy uchopení a držení součástí.

Podle způsobu vyvozování úchopné síly lze chapadla dále rozdělit na:

- aktivní způsob - akční člen (pohon) přímo či zprostředkovaně ovládá úchopný prvek. Akční člen je pak řízen řídicím systémem,
- pasivní způsob - nemá řídicí vstup (nelze ji ovládat) a úchopná síla je vázána na úchopné prvky. (magnet, tvarová vazba, ...) [28] [29]

## **2. Rešerše robot vision systémů**

PR je vždy v pozici master a kamerový systém vždy v pozici slave. Jinými slovy, PR si od kamery vyžaduje informace o objektu, jako například pozici a orientaci a kamera pouze dodává požadované informace PR.

Na dnešním trhu je spousta různých dodavatelů, kteří by se dali podle nabízeného řešení problému RV rozdělit na dvě základní skupiny:

### **1) Kamerový systém dodáván samostatně**

Toto univerzální řešení nabízí velkou variabilitu ve výběru požadovaných parametrů. Úskalí ovšem tvoří relativní složitost zapojení celého systému, zejména poté s PR, který je dodáván samostatně, většinou od jiného výrobce. Tyto komunikační problémy jsou ale čím dál lépe zvládnutelné, nejenom díky stále většímu sortimentu inteligentních kamer, které díky zabudovanému řídicímu systému značně zjednodušují celé komunikační rozhraní.

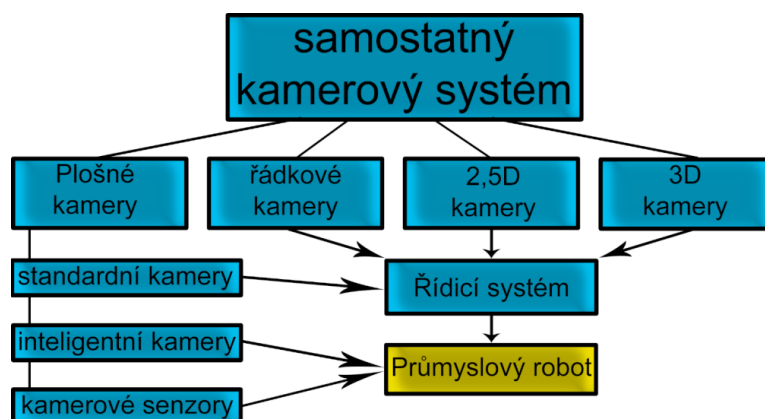
Někteří výrobci kamer také ke kamerám nabízejí řídicí systémy, aby tím doplnili svoji produktovou řadu o kompletní řešení počítačového vidění.

### **2) Kamera přímo integrovaná na průmyslový robot**

Rostoucím trendem je potom možnost dodání kamery přímo integrované na dodávaný robot. Vzhledem k náročnosti vývoje zatím toto řešení není až tak časté. Takto dodaný systém je fixován na výrobcem nabízenou kameru, bez možnosti detailního výběru parametrů, s již vyřešeným komunikačním rozhraním. Výrobci ve svých reklamních kampaních často uvádějí jako výhodu všestrannost pro různé úlohy a výkonný přehledný software.

## **2.1. Samostatně dodávané kamery**

Pro lepší orientaci v sortimentu jednotlivých firem jsou kamery řazeny do produktových řad, které ve většině případů korespondují s provedením kamer dle kapitoly 1.2.3. Každá řada poté dále obsahuje mnoho kamer, řazených podle různých parametrů, které mohou být například rozlišovací schopnost či cena. Výrobci kamer je na dnešním trhu celá řada, mezi významné firmy patří například Keyence, Sick, Cognex, Basler, atd.



Obr. 10 Schéma rozdělení kamer

### Standardní kamery

Pro účely práce byla vybrána produktová řada společnosti Keyence, jejíž produkty jsou bezproblémově funkční na katedře KSR. Nabízejí i různé příslušenství, a tím zaručují maximální kompatibilitu. Řada, spadající pod Intuitive Vision System, označována jako CV-X Series má 11 různých kamer se senzorem CMOS, řazených vzestupně podle rozlišení. Každá kamera je potom nabízena ve verzi monochromatické a barevné [30].

Tab. 3 Specifikace kamer z řady CV-X Series [30]

	Rozlišení (px)	Snímací frekvence	Jiné vlastnosti
CA-H2100M/ CA-H2100C	5104 x 4092 (21 Mpx)	9 fps	-
CA-H500MX/CA-H500CX	2432 x 2040 (5 Mpx)	36/34 fps	Vysoce výkonná
CA-H500M/CA-H500C	2432 x 2050 (5 Mpx)	35 fps	Prostředí odolná
CA-H200MX/CA-H200CX	1600 x 1200 (2 Mpx)	85 fps	Vysoce výkonná
CA-H200M/CA-H200C	1600 x 1200 (2 Mpx)	85 fps	Prostředí odolná
CA-200M/CA-200C	1600 x 1200 (2 Mpx)	18 fps	Prostředí odolná
CA-HS200M/CA-HS200C	1600 x 1200 (2 Mpx)	70 fps	Kompaktní
CA-H048MX	784 x 596 (0.47 Mpx)	345 fps	Vysoce výkonná
CA-H048CX	512 x 480 (0.25 Mpx)	588 fps	Vysoce výkonná
CA-H035M/CA-H035C	640 x 480 (0.3 Mpx)	345 fps	Prostředí odolná
CA-035M/CA-035C	640 x 480 (0.3 Mpx)	61 fps	Prostředí odolná
CA-HS035M/CA-HS035C	640 x 480 (0.3 Mpx)	222 fps	Kompaktní

## Inteligentní kamery

Mezi výrobce inteligentních kamer patří například firma National Instruments. Její produktová řada NI Smart Cameras obsahuje 4 druhy kamer: ISC-1780, ISC-1781, ISC-1782 a ISC-1783 (všechny využívají sensoru CMOS). Kamery jsou seřazené vzestupně podle rozlišení a každá kamera má variantu barevnou a černobílou. Kamery jsou vybaveny velice výkonným procesorem, řadou vstupních i výstupních rozhraní a jsou vodě a prachuodolné. Software obsažený v těchto smart kamerách je výrobcem pojmenován jako Vision Builder [31].

Tab. 4 Specifikace inteligentních kamer z produktové řady NI Smart Cameras [31]

	ISC-1780	ISC-1781	ISC-1782	ISC-1783
Rozlišení (px)	640 x 480	1280 x 1020	1920 x 1200	2592 x 2048
Snímací frekvence (barva) [fps]	147	35	19.9	8.6
Snímací frekvence (černobílá) [fps]	292	85	45.8	21
Orientační cena (barva) [Kč]	75 000	84 000	95 000	118 000
Orientační cena (černobílá) [Kč]	75 000	84 000	95 000	118 000



Obr. 11 Smart kamera ISC od společnosti National Instruments [31]

## Kamerové senzory

Datavision nabízí kamerový senzor DATAVS2 v celkem 16ti variantách dle tab. 5. Označovány jsou následovně: DataVS2-06-DE-AOR-i, kde 06 značí velikost optiky, DE používané rozhraní, AOR verzi SW a i značí infračervené osvětlení. Kombinace těchto parametrů pak tvoří produktovou řadu. Výjimkou jsou verze s infračerveným osvětlením, které jsou dodávány pouze s Advanced a Professional SW. Dále je zde omezení pro verze Basic a Advanced, které umožňují jen rozhraní Ethernet a naopak Identification a Professional jen RS232 s Ethernetem [32].



Tab. 5 Možné kombinace parametrů pro kamerový senzor DATAVS2 [32]

Optika	Software	Rozhraní	Osvětlení
6 mm	Basic	Ethernet	Červené
8 mm	Advanced	RS232 a Ethernet	Infračervené
12 mm	Identification		
16 mm	Professional		



Obr. 12 Kamerový senzor DATAVS2 od společnosti Datavision [32]

### Řádkové kamery

Firma Hikvision má ve svém sortimentu produktovou řadu CL Line Scan Camera, která nabízí celkem 8 druhů kamer se senzorem CMOS.

Tab. 6 Produktová řada CL Line Scan Camera společnosti Hikvision [33]

	Rozlišení (px)	Řádková frekvence	Rozhraní	Barevná škála
MV-CL020-40GM	2048 x 1	51 kHz	GigE	Monochrom.
MV-CL020-41GC	2048 x 2	26 kHz	GigE	Barva
MV-CL041-70GM	4096 x 1	29 kHz	GigE	Monochrom.
MV-CL041-70CM	4096 x 1	100 kHz	CameraLink	Monochrom.
MV-CL042-70CM	4096 x 2	100 kHz	CameraLink	Monochrom.
MV-CL042-70CC	4096 x 2	40 kHz	CameraLink	Barva
MV-CL082-70CM	8192 x 2	40 kHz	CameraLink	Monochrom.
MV-CL084-90CM	8192 x 4	80 kHz	CameraLink	Monochrom.

Rozlišení je zde udáváno jako počet pixelů na řádek krát počet řádků kamery. Řádková frekvence pak vyjadřuje počet snímaných řádků za jednu sekundu. Vzhledem k velkému přenosu dat je zapotřebí vysokorychlostní rozhraní [33].



*Obr.13 Řádková kamera MV-CL084-90CM [34]*

### 3D kamery

Zajímavé řešení nabízí společnost Basler. Jedná se 3D kameru založenou na technologii Time-of-Flight. Senzor použitý v kameře je od firmy Panasonic a je specifický pro danou metodu. Dohledné plány ve vývoji této kamery spočívají v dosažení rozlišení 1,3 Mpix a barevné verze.

Typické aplikace jsou v robotice od výrobce doporučeny jako bin picking (vybírání výrobků z palety / boxu), optimalizace výrobních procesů a vizuální kontrola či dimenzování objektů [20].

*Tab. 7 Parametry kamery ToF od firmy Basler [20]*

Rozlišení (px)	Snímací frekvence	Pracovní rozsah	Přesnost	Barevná škála
640 x 480	20 fps (30 s chlazením)	0,5 m – 13 m	$\pm 1$ cm	monochrom



*Obr. 14 3D Kamera ToF od firmy Basler [35]*

## 2.2. Kamera integrovaná na PR

Toto řešení RV je vůči samostatně dodávané kameře značně omezené a tak nejsou produkty zpravidla řazeny do produktových řad, ale pouze nabízeny v několika (často i jen v jedné) variantách.

### 2D

Dvojrozměrné řešení robot vision integrované přímo na PR je uplatňováno jen omezeně. Typů úloh v tomto odvětví je v podstatě neomezené a mnohdy vyžadující kameru přímo určenou pro daný projekt. Samostatně dodávaná kamera je tedy preferovanou variantou pro většinu řešení.

Integrovanou 2D kameru přímo na robot pak nabízí například společnost ABB v produktové řadě „Integrated Vision“. Propagována je pak především bezproblémová komunikace PR s inteligentní kamerou a programovací výkon dodávaného RobotStudia. Nabízené jsou dvě kamery se senzorem CMOS a to s rozlišením 800 x 600 px a 1280 x 1024 px [36].



*Obr. 15 Smart camera od společnosti COGNEX z produktové řady Integrated Vision [36]*

### 3D

Integrované 3D kamery jsou v robotice určeny především pro technologii bin picking a ve většině případů využívají technologii stereo kamery. Firmy zabývající se touto problematikou jsou například KUKA se svým 3D Perception Sensorem, ABB s FlexVision 3D či FANUC s 3D Vision. Všechny tyto nabízená řešení jsou si velice podobná a liší se zejména po SW stránce [37] [38] [39].

Řešení 3D Vision od společnosti FANUC založené na laserové triangulaci nabízí možnost instalace kamery jak na PR, tak na stojan nacházející se mimo. Dále pak nutnost pouze jednoho kabelu mezi PR a kamerou a dobrou odolnost proti vnějším vlivům. Rozlišení je uváděno 950 x 1104 px a snímací frekvence se pohybuje mezi 3 – 10 fps.

Výrobce udávané výhody takto dodávaného řešení jsou například [40]:

- kompaktní, lehký a všestranný 3D senzor přímo připojitelný k PR
- vysoké rozlišení a kvalita za krátký pořizovací čas
- pro instalaci na PR je vše dodané v „jedné krabici“
- jednoduchá instalace a připojení



*Obr. 16 Ukázka možnosti montáže 3D Vision kamery FANUC [40]*

### **2.3. Vision systémy**

Na trhu se nacházejí dva základní způsoby dodávání vision systémů, a to s nutným HW uzpůsobeným danému SW a samostatným SW, určeným pro instalaci na PC.

#### **2.3.1. Vision systém založený na PC**

Společnost Cognex nabízí VS jako SW přímo instalovaný na klasickém PC. Takto dodávaný systém získá výpočetní schopnost výkonných PC a tím ho lze použít na velice složité aplikace.

V nabídce jsou VS VisionPro a VisionPro ViDi. První ze systémů je klasický parametrický s rozšířenými schopnostmi díky operačnímu systému v PC. Druhý je založen na strojovém učení, kde na předešlých normálních kusech posuzuje, zda jsou další kusy v pořádku či nikoliv. Tato metoda pak vyžaduje jen minimální programování [41] [42].

#### **2.3.2. Vision systém samostatně**

Systém je dodán jak s SW, tak s HW v podobě krabičky o rozměrech řádově 20 cm na výšku, 10 cm na šířku a 20 cm do hloubky. To ho dělá velice kompaktní a vzhledem k předinstalovanému SW i velice jednoduchý na instalaci. HW je pak uzpůsoben

dodanému SW a tím toto řešení dělá cenově dostupnější. Výstup pro uživatele pak tvoří klasický analogový RGB port pro monitor.

Tento VS nabízí například společnost Omron a to ve dvou variantách [43]:

- VS integrovaný s monitorem
- VS samostatně

### 3. Praktická část

Úkolem praktické části je ve variantách provést návrh koncepce laboratorního pracoviště se zaměřením na periferie pro náhodné pozicování objektu manipulace s možností automatického cyklování manipulační úlohy.

Pro vizualizaci a generování pohledů je používána studentská licence parametrického adaptivního 3D modeláře Autodesk Inventor Professional 2020 od společnosti Autodesk.

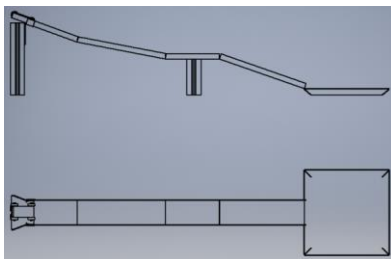
Pro tvorbu 2D výkresové dokumentace pak AutoCAD Mechanical 2020 opět od společnosti Autodesk.

#### 3.1. Varianty řešení

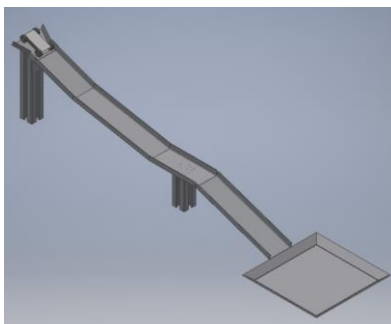
##### 3.1.1. Návrh 1: Auto jedoucí po dráze

Návrh zahrnuje auto, které je z plechové vany odejmuto robotem, který ho poté uchopí chapadly a přemístí na vyvýšenou nakloněnou rampu. Následně se auto pomocí gravitace rozjede a po plechové autodráze sjede zpět do původní plechové vany. Poté se celý proces opakuje.

Výhodou této varianty je zajímavé vizuální zpracování. Nevýhodou by poté byla velice složitá konstrukce, u které by mohlo nastat zaseknutí auta a tak selhání celého cyklu.



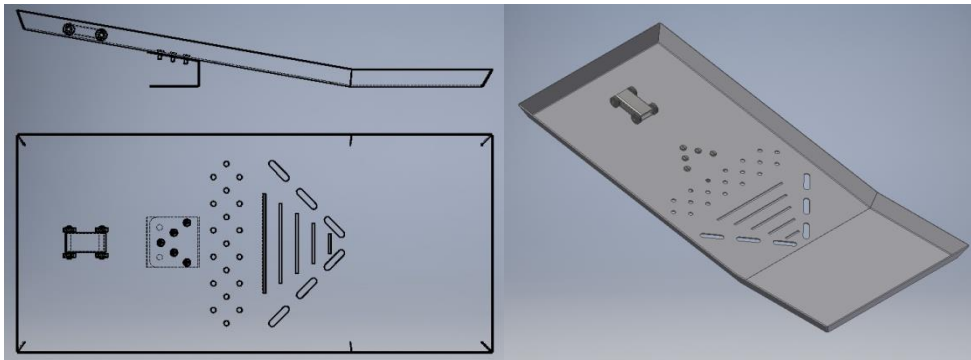
*Obr. 17 Náčrt Bokorysu a půdorysu návrhu č. 1*



*Obr. 18 3D pohled náčrtu sestavy plechové vany (vpravo dole), dráhy a auta umístěného na vrcholu dráhy*

### 3.1.2. Návrh 2: Auto jedoucí po široké dráze

Tento návrh je zjednodušenou variantou předchozího návrhu. V tomto případě je vana spojena se samotnou dráhou, na které jsou poté vyříznuty různé tvary, které mají za cíl vychýlit auto z původní dráhy a tím zaručit nahodilost procesu.

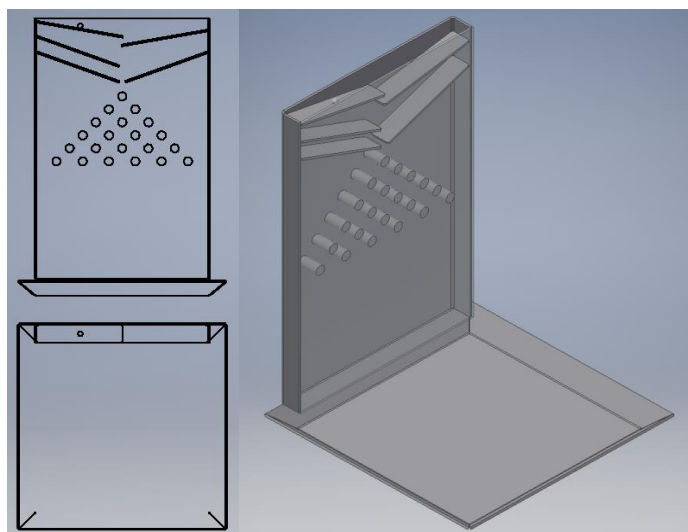


Obr. 19 Náčrt bokorysu a půdorysu návrhu č. 2 a 3D pohled návrhu

### 3.1.3. Návrh 3: Kulička padající náhodnými prvky

Kulička padá svislou plechovou vanou (kolmost není nutná). V této vaně jsou umístěné překážky, které mají za úkol kuličku zpomalit a znáhodnit kudy kulička z vany vyjede. Po vyjetí z vany kulička spadne do plechové vany, z které je následně vyjmuta robotem a umístěna do původního stavu.

Výhodou je, že předmět uchopovaný robotem je kulička, která se lehce uchopí do chapadel a je velice lehce rozpoznána kamerovým systémem. Také zde není možnost zaseknutí kuličky a zastavení cyklu. Nevýhodou je relativně obtížné konstrukční zpracování.

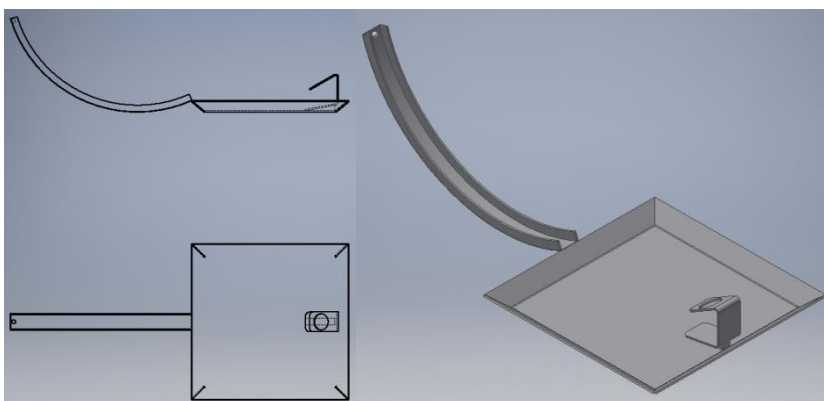


Obr. 20 Vlevo náčrt bokorysu a půdorysu návrhu č. 3. Vpravo pak 3D pohled návrhu

#### 3.1.4. Návrh 4: Kulička padající do basketbalového koše

Robot uchopí kuličku z plechové vany a umístí ji na dráhu, po které kulička sjede dolů a vystřelí směrem na basketbalový koš. Po úspěšném či neúspěšném pokusu se tato úloha opakuje.

Výhodou je opět lehce detekovatelný objekt. Je ovšem nezbytné vypočítat ideální dráhu a také zajistit, aby kulička trefila koš například v 50 procentech případů. Toho lze docílit například drobnými nerovnostmi na dráze či náhodným položením kuličky nahoře na rampě. Také je obtížné tuto dráhu konstrukčně vyřešit.



Obr. 21 Vlevo náčrt bokorysu a půdorysu návrhu č. 4. Vpravo pak 3D pohled

#### 3.1.5. Návrh 5: Výběr nejryhlejší dráhy

Pomocí třech tlačítek vybrat dráhu 1 až 3. Každá dráha má odlišný charakter. Například dráha číslo jedna bude mít tvar přímky a druhá bude mít tvar paraboly. Úkolem bude vybrat dráhu, po které kulička sjede nejrychleji.

Výhodou úlohy je demonstrace možnosti analogového vstupu uživatelem do procesu. Nevýhodou poté komplexnost konstrukce.

#### 3.1.6. Návrh 6: Kuličkodráha

Návrh se skládá z kuličkodráhy složené z hliníkových profilů, hadice jako dráhy pro kuličku a vany vyhrazující odběrný prostor.

Výhodou je snadno detekovatelný objekt, lehké konstrukční řešení úlohy a možnost snadné modulace dráhy pro výukové důvody.



### 3.1.7. Výběr varianty

Na konstrukční úlohu byl vybrán návrh 6: Kuličkodráha. Hlavními důvody jsou malý zdvih v ose z dostupného PR a lehká dostupnost materiálů pro sestavení, kde návrh neobsahuje svařované či těžce obráběné tělesa, jejichž dostupnost není zaručena.

### 3.2. Laboratorní pracoviště

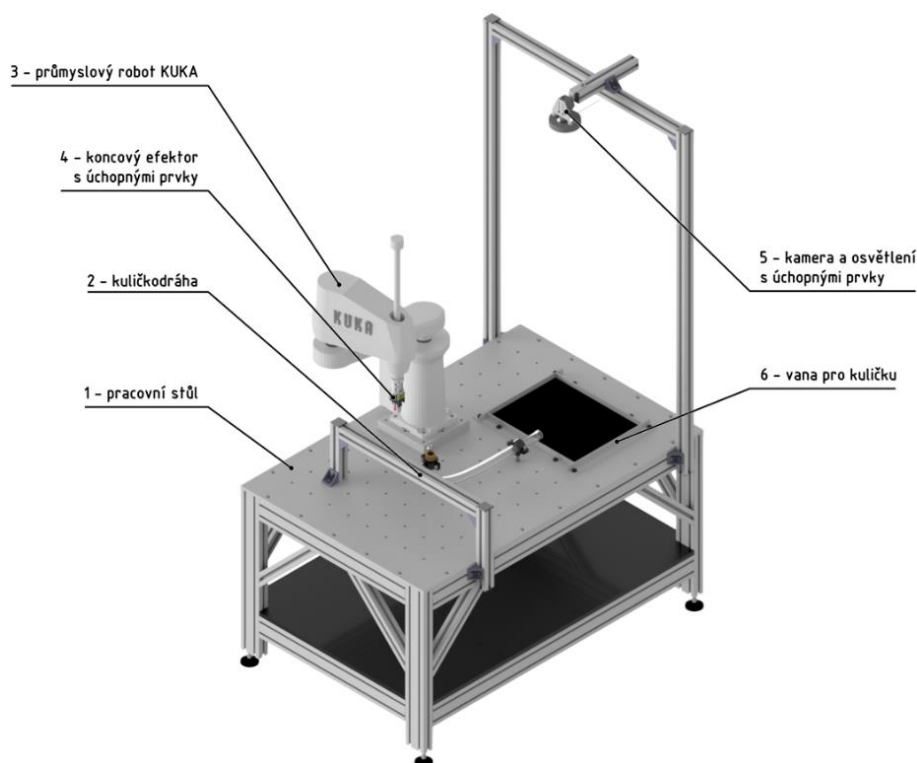
Laboratorní pracoviště se nachází v univerzitní budově L ve třetím patře. Prvky na pracovišti se dají rozdělit na:

#### předem přítomné

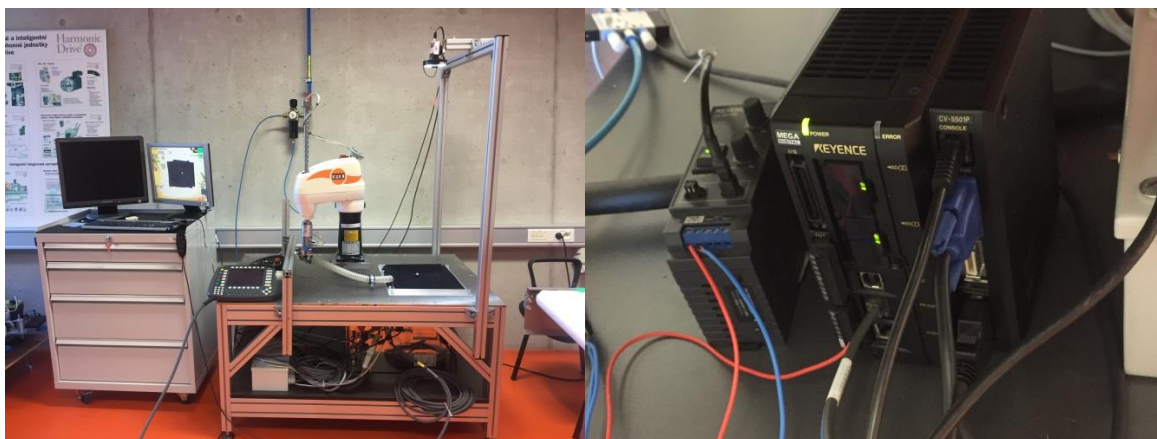
- pracovní stůl (1)
- průmyslový robot (3)
- kamerový systém - kamera, VS, ovládání osvětlení a osvětlení (5)
- přívod stlačeného vzduchu

#### navržené

- koncový efektor s přírubou pro jeho uchopení k PR a prsty pro chapadla (4)
- držáky pro kameru a osvětlení (5)
- kuličkodráha (2)



Obr. 22 3D Model laboratorního pracoviště s pozicemi jednotlivých prvků



*Obr. 23 Fotka celkového laboratorního pracoviště vlevo a detail ovládání osvětlení a VS vpravo*

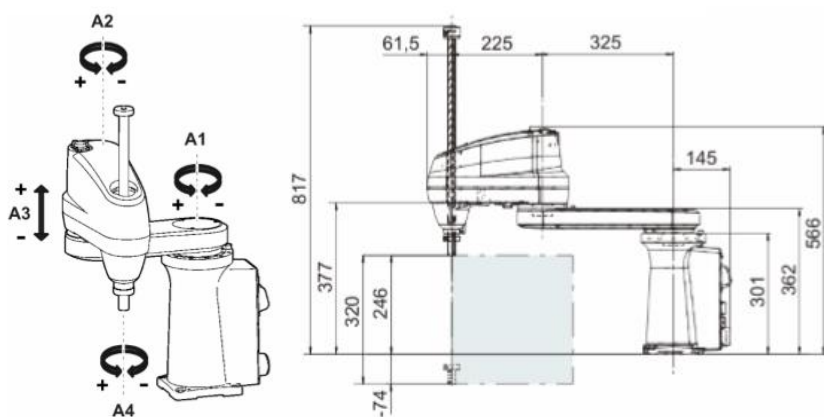
### **3.2.1. Průmyslový robot**

Je použit PR dostupný na pracovišti KSR. Jedná se o model KR 5 scara, typ R550 - Z320 od výrobce KUKA Roboter GmbH. Jedná se o kompaktní robot pro malé váhy se čtyřmi osami. Systém robotu se skládá ze samotného robotu, řídicího systému, ručního ovládacího panelu (teach pendantu) a spojovacího kabelu.



*Obr. 24 Schéma robotu. 1 – robot KR 5 scara R550-Z320. 2 - řídicí jednotka. 3 - ruční ovládací panel, 4 – propojovací kabel [44]*

Tento model robotu neumožňuje náklon v ose z a jeho zdvih je značně limitován. Základní technické parametry a rozměry PR zle vyčíst z obr. 25 a tab. 8.



Obr. 25 Schéma os robotu vlevo. Rozměry průmyslového robotu vpravo [44]

Tab. 8 Výběr relevantních parametrů z technické specifikace od výrobce [44]

Model		KR 5 scara
Typ		R550-Z320
Specifikace osy 1	Rozmezí pohybu, limitované SW	$\pm 155^\circ$
	Rychlost pohybu při zatížení 5 kg	$450^\circ/\text{s}$
Specifikace osy 2	Rozmezí pohybu, limitované SW	$\pm 145^\circ$
	Rychlost pohybu při zatížení 5 kg	$720^\circ/\text{s}$
Specifikace osy 3	Rozmezí pohybu, limitované SW	$+246 \text{ mm} / -74 \text{ mm}$
	Rychlost pohybu při zatížení 5 kg	$2\,000 \text{ mm/s}$
Specifikace osy 4	Rozmezí pohybu, limitované SW	$\pm 358^\circ$
	Rychlost pohybu při zatížení 5 kg	$2400^\circ/\text{s}$
Maximální nosnost		5 kg
Hmotnost		Přibližně 20 kg

### 3.2.2. Kamerový systém

Výběr kamerového systému je limitován dostupností HW a SW na pracovišti katedry KSR. Součástí systému je samotná kamera, osvětlení, VS, objektiv a další podpůrná elektronika, konkrétně zdroj stejnosměrného napětí s výstupem 24V, ovládání intenzity osvětlení s vestavěnou redukcí výstupního napětí na 12V, LCD monitor a různé propojovací a napájecí kabely.

#### Kamera

Na konstrukční projekt je použita kamera s CCD snímačem, model CV-200C od výrobce KEYENCE.



*Obr.26 Kamera CV-200C od výrobce Keyence [45]*

*Tab. 9 Výběr relevantních parametrů z technické specifikace od výrobce [45]*

Model	CV-200C
Typ	Kamera
Počet platných pixelů	1600 x 1200 px (2 Mpx)
Frekvence přenosu pixelů	40 MHz
Přenosový systém	Digitální sériový přenos
Metoda upevnění objektivu	C mount
Hmotnost	Přibližně 110 g (bez objektivu)

## Osvětlení

Pro regulaci svítivosti osvětlení je použit KEYENCE ovladač světla CA-DC100.



*Obr.27 Ovladač světla CA-DC100 od společnosti KEYENCE [46]*

*Tab. 10 Výběr relevantních parametrů z technické specifikace od výrobce [46]*

Model	CA-DC100
Spotřeba energie	1.8 A
Vstupní napětí	24 VDC
Výstupní napětí	12 V
Hmotnost	Přibližně 220 g

Dále je použito ploché LED osvětlení tvaru prstence, jedná se o model CA-DRW10F opět od výrobce KEYENCE.



*Obr.28 Osvětlení CA-DRW10F od výrobce Keyence [47]*

*Tab. 11 Výběr relevantních parametrů z technické specifikace od výrobce [47]*

Model	CA-DRW10F
Typ	Prstencové světlo (přímý, plochý typ)
LED barva	Bílá
Spotřeba energie	7.9 W
Vstupní napětí	12 VDC
Hmotnost	Přibližně 110 g

## Řídicí systém

Vision systém má označení CV-5501P. Software obsažený v tomto systému je výrobcem (KEYENCE) označován jako CV-H5N.



*Obr.29 Vision systém CV-5501P od výrobce Keyence [48]*

Tab. 12 Vybraná relevantní technická specifikace používaného Vision systému [48]

Model		CV-5501P
Hlavní procesor na zpracování obrazu		DSP (Vysokorychlostní)
Počet registrovaných nastavení		Externí SD karty pojmu přibližně 1000 programů
Počet obrazů, které lze zaregistrovat		Maximum 1000 obrazů pro každý program
Kapacita interní paměti		2x SD karta (SDHC kompatibilní)
Měřicí nástroj	Měření plochy	Dostupné tvary: obdélník, kruh, ovál, kruh, oblouk
	Rozpoznávání tvarů	Možnost vícenásobného vyhledávání jak pro
Výkon	napájecí napětí	24 VDC $\pm 10\%$
	odběr proudu	2.4 A při dvou kamerách
Hmotnost		Přibližně 1250 g

## Objektiv

Pro tuto úlohu je používán objektiv Kowa CCTV HR F1.4/8 s ohniskovou vzdáleností 8 mm.

### 3.2.3. Pracovní stůl

Základní kostra stolu se skládá z hliníkových profilů. Pracovní plocha potom z plechu o tloušťce 10 mm, ve kterém jsou vyvrtány díry pro snadný úchop různých prvků na stole. Dále je na stůl přichycena hliníková konstrukce pro průmyslovou kameru a to v dostatečné výšce, aby nenastala kolize s PR. Stůl je také vybaven 30 mm přírubou pro PR.



Obr.30 Model pracovního stolu

### 3.3. Konstrukční návrh manipulační úlohy

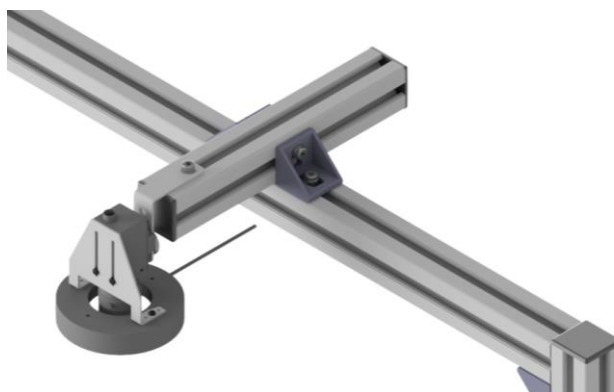
Využívanými materiály jsou primárně hliníkové profily, vzhledem k jejich dostupnosti na pracovišti KSR.

Úchop kamery je řešen pomocí dvou ohnutých plechů. Koncový efektor je k PR přichycen svěrným spojem – Přírubou. Čelisti chapadel jsou upraveny pomocí prstů, které slouží za prvé jako ochranný prvek proti opotřebení, ale hlavně dle požadavků upravují úchopovou geometrii.

Kuličková dráha se skládá z nařezaných Al profilů a spojovacího materiálu. Maximální výška dráhy je úměrná maximálnímu zdvihu PR.

#### 3.3.1. Konstrukční návrh držáku kamery a osvětlení

Úchopné prvky pro kameru a osvětlení se skládají z nastavitelného Al profilu o délce 250 mm pro přesné umístění kamery nad středový bod vany a dvou ohnutých plechů ve tvaru „L“ pro uchycení kamery k Al držáku a osvětlení ke kameře.



*Obr. 31 Detailní 3D pohled na uchopení kamery s osvětlením*

#### 3.3.2. Konstrukční návrh efektoru

Koncový prvek efektoru se skládá ze samotného chapadla, příruby pro přichycení k PR a prstů.

#### Použitý efektor

Vzhledem ke zvoleným průměrům zdviháných kuliček 14 mm a 20 mm je zapotřebí dosáhnout minimálního zdvihu 6 mm ve vodorovné ose. Na úlohu tohoto typu je ideální volba pneumatického paralelního chapadla, vzhledem k jeho malým rozměrům oproti elektrickému chapadlu.

Volím chapadlo MPG-plus 40 pro malé součástky od společnosti SCHUNK s celkovým zdvihem 12 mm.



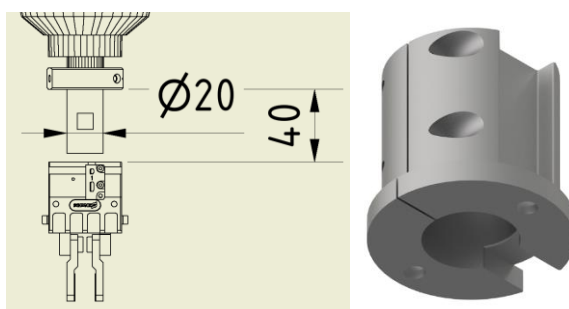
Obr.32 Chapadlo MPG-plus 40 od výrobce SCHUNK [49]

Tab. 13 Výběr relevantních parametrů z technické specifikace od výrobce [49]

Model	MPG-plus
Typ	40
Zdvih na čelist	6 mm
Zavírací/otevírací síla	135/110 N
Doporučená nosnost	0,7 kg
Minimální/Nominální/Maximální operační tlak	2/6/8 bar
Zavírací/otevírací čas	0,04/0,04 s
Opakovaná přesnost	0,02 mm
Rozměry X x Y x Z	40 x 26 x 39 mm
Hmotnost	0,18 kg

### Příruba

Příruba je přichycena ke koncovému prvku PR, trubkou o vnějším průměru  $\varnothing 20$  mm. Výška příruby je zvolena 40 mm. Koncovou trubkou robotu prochází mimo jiné pneumatické hadice, které jsou následně vyvedeny ve spodní části příruby. Chapadlo je pak k přírubě přichyceno dvěma šrouby s metrickým závitem M4.

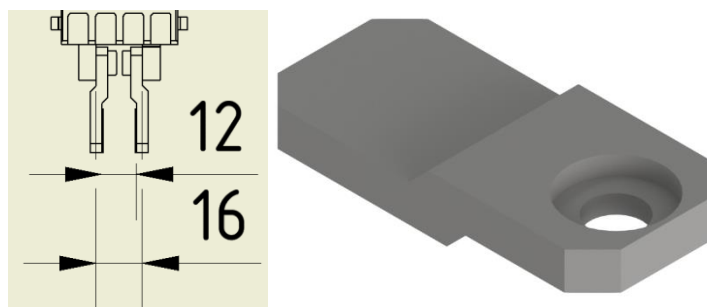


Obr. 33 Požadované rozměry vlevo. 3D návrh příruby vpravo



## Čelisti

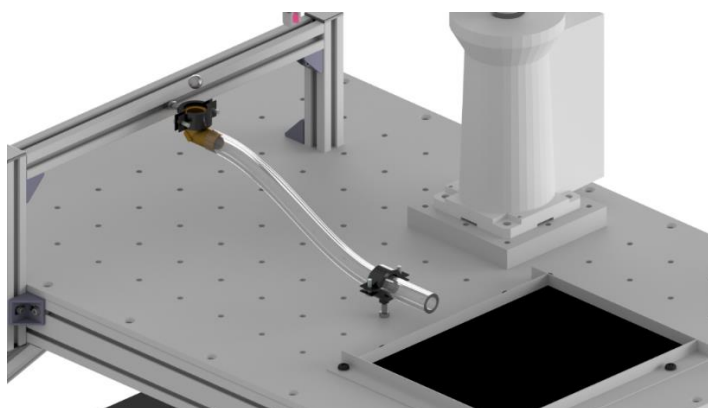
Chapadla dodaná dodavatelem disponují rozsahem čelistí 16 mm až 28 mm. Nejsou tedy schopna uchopit kuličku o průměru 14mm. Ten je tedy potřeba upravit pomocí prstů. Zvolil jsem modifikovaný rozsah 12 mm až 24.



*Obr. 34 Originální rozměr čelistí vs upravený rozměr čelistí sevřeného chapadla vlevo. 3D pohled návrhu vpravo*

### 3.3.3. Konstrukce dráhy pro kuličku

Kuličkodráha se skládá z modulárních hliníkových profilů a hadicové dráhy. Vstupem do dráhy je 90° koleno, spojené hadicovou objímkou k hliníkovému profilu. Vývodem je poté prosté zakončení hadic, spojené ke stolu opět hadicovou objímkou. Po vyjetí z dráhy spadne kulička do vany z L profilů.



*Obr. 35 3D model návrhu kuličkodráhy*

## 4. Programování průmyslového robotu a kamerového systému

Kamerový systém je propojen pomocí PLC Linky s řídicím systémem PR. Standardně jsou sériová rozhraní přiřazena systému Windows. Aby bylo možné je použít z KR C2, musí být přiřazeny k operačnímu systému KRC VxWorks v souboru „HW\_INF.INI“ (v adresáři „C:\KRC\Roboter\INIT“).

Upravený soubor vypadá následovně (COM2 je povolený pro PR):

```
[SERIAL]
COM1=DISABLE
COM2=ENABLE
COM3=DISABLE
```

Tyto sériová rozhraní jsou pak definována v souboru „SERIAL.INI“ (v adresáři „C: KRC INIT“) následovně:

```
[COM2]
BAUD=9600
CHAR_LEN=8 ; 7,8
STOP_BIT=1 ; 1,2
PARITY=2 ; EVEN=2, ODD=1, NONE=0

PROC=1 ; 3964R=1, SRVT=2, WTC=3, XONXOFF=4
```

Pro funkci úlohy je potřeba podprogram pro komunikaci mezi VS a PR. Jeho účelem je otevřít sériovou linku a získat souřadnice kuličky. Hlavní program pak provádí samotnou manipulační úlohu.

### 4.1. Komunikační program PR

Kód programu je vytvořen na teach pendantu PR. Na jeho editaci byl také použit SW od společnosti KUKA – Orange Edit.

```
DEF testcom(x,y,uhel,pocet:out)

;definice promennych
decl MODUS_T mode
decl STATE_T status

int handle,offset,pocet
char command[2],prefix[3],carka,cr
real timeout,x,y,uhel

INI
```

```

;prirazeni hodnoty promennym
x=0
y=0
uhel=0

;otevreni seriove linky a definice parametru
copen(:ser_2,handle)
command[]="T1"
mode=#sync
cwrite(handle,status,mode,"%s%lr",command[],13)
offset=0
mode=#abs
timeout=2

;cteni ze seriove linky
cread(handle,status,mode,timeout,offset,"%f%lr%lf%lr%8f%lr",prefix
[],x,carka,y,carka,uhel,carka,pocet,cr)

;prepocet souradnic z pixelu na mm
x=(x-470)/1.87
y=(y-320)/1.87

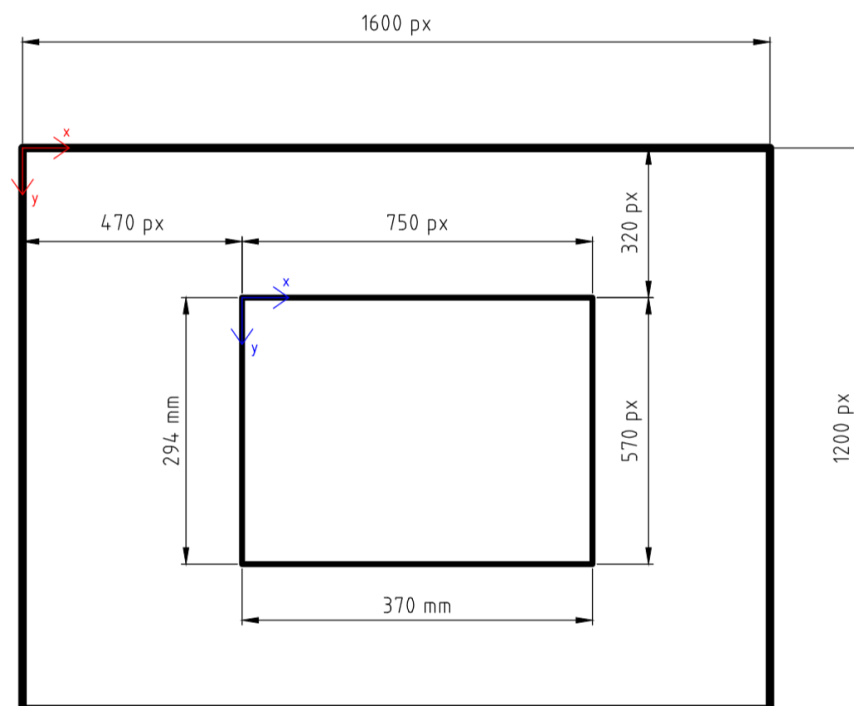
;uzavreni seriove linky
cclose(handle,status)

end

```

### Přepočet souřadnic z pixelů na milimetry

Souřadnicový systém VS je v pixelech a je počítán od levého horního rohu okraje pořízeného snímku, zatímco SS PR je definován od levého horního okraje vany (obr. 36).



Obr. 36 Schéma souřadnicových systémů a relevantních vzdáleností v pixelech a milimetrech (SS kamery červeně a PR modře)

Aby byli souřadnice systémů shodné, je nutné nejprve ztotožnit jejich počátek a následně vydělit poměrem mezi pixely a milimetry. Vzhledem k vzniklým nepřesnostem při definování báze PR a instalace kamery používám následující metodu:

- 1) Umístím kuličku do vany a vyžádám si od VS její souřadnice.
- 2) Najedu PR nad kuličku a odečtu jeho souřadnice.

Tab. 14 Vyčtené hodnoty

	Průmyslový robot	Vision systém
Souřadnice x	123,34	698,23
Souřadnice y	122,95	552,98

- 3) Pomocí dvou rovnic o dvou neznámých spočítám poměr  $k = \frac{Px}{mm}$ .

$$k_x = \frac{x_{VS}-470}{x_{PR}} = 1,8496 \quad (2)$$

$$k_y = \frac{y_{VS}-470}{y_{PR}} = 1,8949 \quad (3)$$

- 4) Je zřejmé, že poměr  $k_x = k_y$ . Došlo ovšem k nepřesnostem v měření a tak volím  $k = 1,87$

Konečné přepočtové rovnice jsou:

$$x_{PR} = \frac{x_{VS}-470}{1,87} \quad (4)$$

$$y_{PR} = \frac{y_{VS}-320}{1,87} \quad (5)$$

## 4.2. Program úlohy

```
DEF testkulicky(x,y,uhel,pocet:IN)

;definice promennych
real x,y,z,uhel
int pocet,i,handle,offset
char command[9],carka,cr,prefix[2]
```

INI

```
;komunikacni podprogram zjistujici souradnice kulicky
testcom(x,y,uhel,pocet)

;otevreni celisti chapadla (pojistka proti poskozeni)
OUT 17 'Celisti' State= FALSE CONT

;najezd na domovske souradnice
PTP domu Vel= 5 % PDAT17 Tool[0] Base[1]:Plocha

;definovani polohy nad kulickou
XPoloha.x=x
XPoloha.y=y
XPoloha.z=-60

;najezd nad kulicku
PTP Poloha Vel= 30 % PDAT20 Tool[0] Base[2]:vana

;definovani 'z' souradnice pro uchyceni kulicky
XPoloha.z=24

;najezd na kulicku
LIN Poloha Vel= 0.12 m/s CPDAT4 Tool[0] Base[2]:vana

;tento radek jen resi chybu SW uzavirajici chapadla pred dojezdem
WAIT Time= 0.1 sec

;definovani 'z' souradnice pro zdvih kulicky
XPoloha.z=-60

;sevreni chapadla
OUT 17 'Celisti' State= TRUE CONT

;cekani na uzavreni chapadel
WAIT Time= 0.5 sec

;zvednuti kulicky
LIN Poloha Vel= 0.3 m/s CPDAT6 Tool[0] Base[2]:vana

;najezd nad kulickodrahu
PTP kulickod Vel= 20 % PDAT26 Tool[0] Base[2]:vana

;rozevreni chapadla
WAIT Time= 0.1 sec
OUT 17 'Celisti' State= FALSE CONT

;cekani na upusteni kulicky
WAIT Time= 1 sec

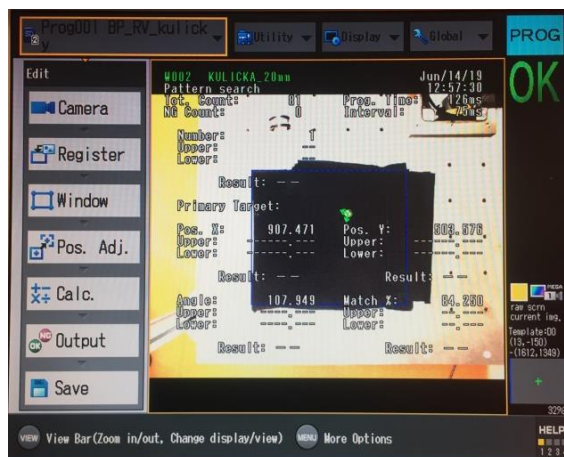
;najezd robotu pryc od kulickodrahy (mezikrok kvuli pripadne kolizi)
PTP clear Vel= 20 % PDAT27 Tool[0] Base[2]:vana

;cekani na zastaveni kulicky ve vane
WAIT Time= 2 sec
```

END

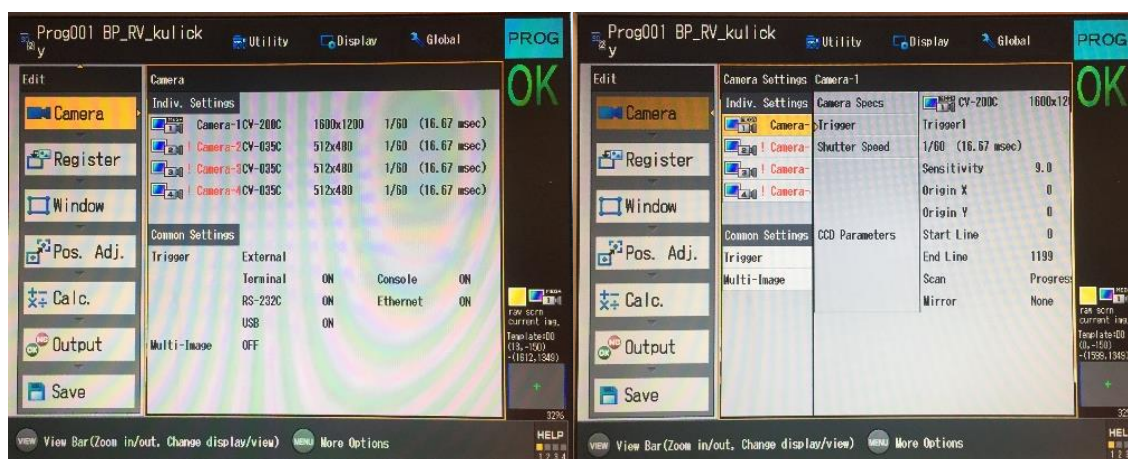
### 4.3. Parametrizace průmyslové kamery

Vision systém je založen na parametrizaci a pro jeho správné fungování je třeba ho správně nakonfigurovat. Navigaci v rozhraní zajišťuje přiložená konzole.



Obr. 38 Hlavní menu programu

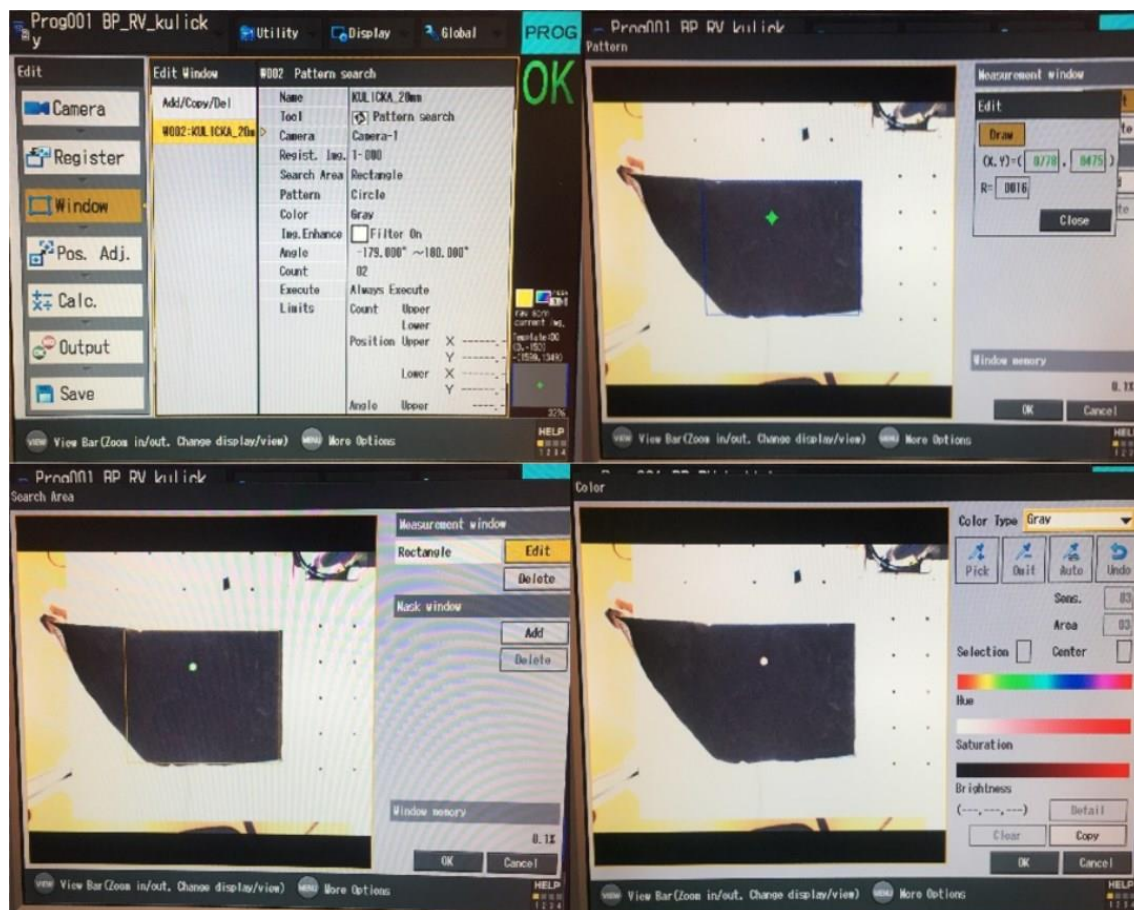
Hlavní menu je rozděleno na submenu: Camera, Register, Window, Pos. Adj., Calc., Output a Save. Projekt lze vybrat v levé horní části obrazovky. Dále VS obsahuje nástroje ,utility' pro diagnózu (vpravo od výběru projektu), nabídku ,Display' a ,Global' pro globální nastavení VS.



Obr. 39 Camera submenu.

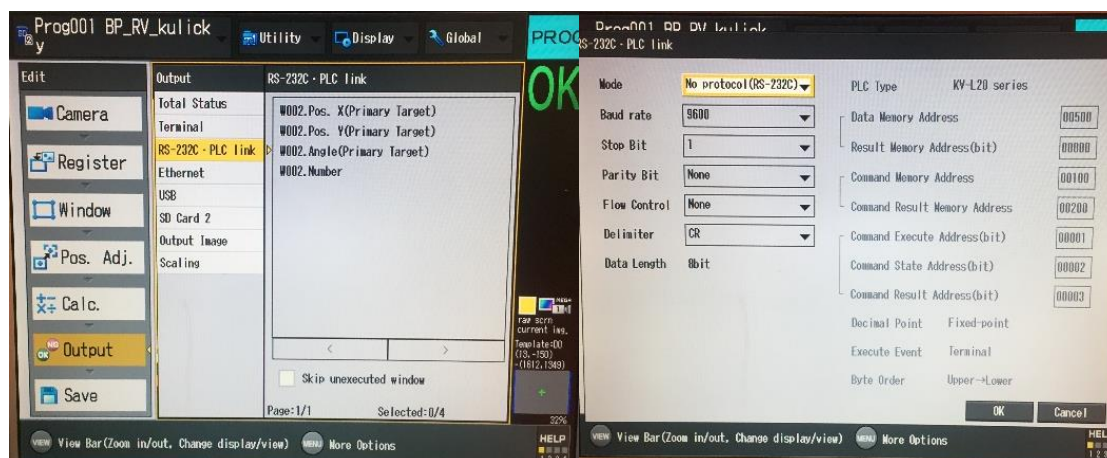
Submenu Camera slouží k vybrání a nastavení kamery. Vzhledem k jednoduchému tvaru hledaného objektu je nastavená sensitivita kamery na maximální hodnotu, tím vznikne tzv. přesvícený obraz. Zbytek je ponechán na výchozích hodnotách.





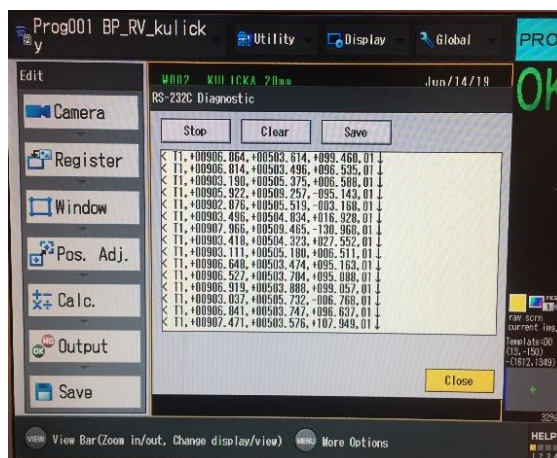
Obr. 40 Window submenu

Ve Window submenu je nastavena měřicí oblast vyhraněná vanou, dále pak definování hledaného předmětu, v našem případě program hledá kruh o průměru 16 pixelů. Barvy jsou převedeny na monochromatické zobrazení.



Obr. 41 Output submenu vlevo a globální nastavení PLC Link vpravo

Ve výstupu jsou nastavené konstanty x, y, úhel a počet. Ty jsou odesílány pomocí PLC linky, která je definována v globálním nastavení.



Obr. 42 RS-232C Diagnostika v Utility submenu

Ověření funkčnosti, tedy zda VS odesílá vyžádaná data, provedeme v diagnostickém okně, které se nachází v submenu Utility.



## **5. Aplikační přínos řešení**

Hlavním přínosem práce je možnost využití robotického pracoviště pro výukové účely. Studenti mají možnost prohlédnout si RV a zároveň si mohou vyzkoušet programování úlohy a parametrizaci VS. Celé pracoviště je ukázkou fungování v praxi hojně využívaného systému, který v budoucnu může plně nahradit lidskou manuální činnost.

Dalším přínosem je možnost demonstrace RV systému v automatické manipulaci pro případné zájemce o tuto problematiku a pro studenty celého spektra vzdělávacího systému.

Práce by také mohla sloužit k úzkému záběru výzkumu v oblasti robot vision systémů.

## **Závěr**

Cílem bakalářské práce bylo přiblížit problematiku robot vision systémů pomocí rešerše a konstrukce prezentačního systému, který bude sloužit jak pro zaujetí publika, tak k výukovým a výzkumným aktivitám.

Účelem první kapitoly bylo seznámení čtenáře se základní problematikou robot vision systémů a obsahuje stručný popis principů využívaných v následujících kapitolách.

Dále byla provedena samotná rešerše RV systémů. Ta byla rozdělena do dvou podkapitol, kde kritériem pro rozdělení byl způsob dodání (kamera může, ale nemusí být součástí PR). Další rozdělení pak koresponduje s předchozí kapitolou. Pro každý typ kamerového systému je uveden něčím zajímavý produkt či produktová řada.

Bylo navrženo laboratorní pracoviště zahrnující robota, kameru a kuličkodráhu. Všechny tyto komponenty byly vytvořeny v konstrukčním programu Autodesk Inventor a AutoCAD a jejich technická dokumentace se nachází v příloze. Nyní je pracoviště i zkonstruováno a připraveno k použití. Při samotné konstrukci došlo k několika kompromisům, jmenovitě bylo například použito jiné chapadlo z důvodů dostupnosti, princip úlohy byl však zachován. Řešení je pro diváka velice poutavé a vzhledem k dané konstrukci je také lehce modulární, což je výhodné při výukových a výzkumných aktivitách.

Dále byly vypracovány programy sloužící ke komunikaci mezi robotem a kamerou se zřetelnými a jasnými popisky, ujasňující chod celého systému. Nutné bylo také neparаметrizovat vision systém pro bezproblémové detekování kuličky, opět s náležitými popisky.

Na závěr byly sepsány další možnosti, jak by bylo možné práci dále rozvíjet a doplnit.

## Použitá literatura

- [1] HILL, Alex Owen. Robot vision vs Computer Vision: What's the Difference?. <https://robotiq.com/> [online]. 2016 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/robot-vision-vs-computer-vision-whats-the-difference>
- [2] Frické, Martin. 2019. "The knowledge pyramid: the DIKW hierarchy". Knowledge Organization 49, no. 1: 33-46. Also available in ISKO Encyclopedia of Knowledge Organization, eds. Birger Hjørland and Claudio Gnoli, <http://www.isko.org/cyclo/dikw>
- [3] MACENAUER, Andrej. JAK FUNGUJE CCD ČIDLO. In: *Fotoaparát.cz* [online]. 2002 [cit. 2018-06-03]. Dostupné z: <https://www.fotoaparát.cz/clanek/233/jak-funguje-ccd-cidlo-5021/>
- [4] CMOS image sensor. In: *TechTerms* [online]. 2017 [cit. 2019-06-20]. Dostupné z: [https://cdn.techterms.com/img/lg/cmos\\_222.jpg](https://cdn.techterms.com/img/lg/cmos_222.jpg)
- [5] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základní principy a hardware. V *Liberici: Technická univerzita*, 2015, s. 30-32. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [6] Obrazové snímače CCD vs. CMOS. *Netcam.cz* [online]. [cit. 2018-06-03]. Dostupné z: <https://netcam.cz/encyklopedie-ip-zabezpeceni-obrazove-snimace-ccd-cmos.php>
- [7] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základní principy a hardware. V *Liberici: Technická univerzita*, 2015, s. 37-39. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [8] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základní principy a hardware. V *Liberici: Technická univerzita*, 2015, s. 50-56. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [9] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základní principy a hardware. V *Liberici: Technická univerzita*, 2015, s. 72-76. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [10] CAGAŠ, Roman. *Strojové vidění – několik úskalí návrhu systémů*. Autom. 2010, 2010, 2-4. ISSN 1210-9592.
- [11] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základní principy a hardware. V *Liberici: Technická univerzita*, 2015, s. 76. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [12] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základní principy a hardware. V *Liberici: Technická univerzita*, 2015, s. 77-78. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [13] GRĚŠ, Tomáš. DÍL 1: ŘÁDKOVÉ KAMERY – TYPY A TECHNOLOGIE. *Atesystem* [online]. [cit. 2019-06-20]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/know-how/line-scan-velky-pruvodce-radkovymi-kamerami/dil-1-radkove-kamery-typy-a-technologie/>
- [14] VSPI-4F2111 Inspector. *KAMEROVÉ SYSTÉMY | SICK* [online]. 2019 [cit. 2019-06-20]. Dostupné z: [https://cdn.sick.com/media/pdf/0/40/640/dataSheet\\_VSPI-4F2111\\_1047913\\_cs.pdf](https://cdn.sick.com/media/pdf/0/40/640/dataSheet_VSPI-4F2111_1047913_cs.pdf)
- [15] Kamerový senzor. *VELEBIL* [online]. [cit. 2019-06-20]. Dostupné z: <http://www.velebil.cz/katalog-produktu/detail/fq-134>
- [16] RaL2048-48gm - Basler racer. *BASLER* [online]. [cit. 2019-06-20]. Dostupné z: <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/line-scan-cameras/racer/raL2048-48gm/>
- [17] OTESTEANU, Marius a Vasile GUI. 3D Image Sensors, an Overview. *WSEAS TRANSACTIONS on ELECTRONICS* [online]. Romania, 2008, 2008(3), 53-56 [cit. 2019-06-20]. ISSN 1109-9445. Dostupné z: <http://www.wseas.us/e-library/transactions/electronics/2008/Editor%20Paper%20OTESTEANU.PDF>
- [18] ŠEBESTÍK, Zdeněk a ATEsystem s.r.o. 3D KAMERY A TECHNOLOGIE. *FM TUL* [online]. 2016 [cit. 2019-06-20]. Dostupné z: [https://www.fm.tul.cz/files/pages/other/MTI/obr16/obr16\\_ATEsystem\\_Sebestik.pdf](https://www.fm.tul.cz/files/pages/other/MTI/obr16/obr16_ATEsystem_Sebestik.pdf)
- [19] C5 Series. *Automation Technology* [online]. [cit. 2019-06-20]. Dostupné z: [https://www.automationtechnology.de/cms/wp-content/uploads/2019/03/C5-Series\\_web.pdf](https://www.automationtechnology.de/cms/wp-content/uploads/2019/03/C5-Series_web.pdf)
- [20] Basler Time-of-Flight Camera. *BASLER* [online]. [cit. 2019-06-20]. Dostupné z: <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/3d-cameras/time-of-flight-camera/>
- [21] KONOLIGE, Kurt. Projected Texture Stereo. *Willow Garage, Menlo Park, USA* [online]. Menlo Park, USA [cit. 2019-06-20]. Dostupné z: <http://www.willowgarage.com/sites/default/files/ptext.pdf>
- [22] X30 / X36. *ENSENSO* [online]. [cit. 2019-06-20]. Dostupné z: <https://www.ensenso.com/portfolio-item/x3x/>
- [23] FÍRT, Jaroslav a Radek HOLOTA. Digitalizace a zpracování obrazu. *Západočeská univerzita v Plzni* [online]. Plzeň [cit. 2019-06-21]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~holota5/publ/DigZprO.pdf>
- [23] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základní principy a hardware. V *Liberici: Technická univerzita*, 2015, s. 24-25. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [24] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základní zpracování obrazu. V

- Liberčí: Technická univerzita, 2015, s. 66. ISBN 978-80-7494-202-0.
- [25] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základní principy a hardware. V Liberčí: Technická univerzita, 2015, s. 81-82. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [26] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základní principy a hardware. V Liberčí: Technická univerzita, 2015, s. 56-57. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [27] FRENZEL, Lou. Serial I/O Interfaces Dominate Data Communications. *Electronic Design* [online]. 22 September 2015 [cit. 2019-06-22]. Dostupné z: <https://www.electronicdesign.com/communications/serial-io-interfaces-dominate-data-communications>
- [28] NOVOTNÝ, František a Marcel HORÁK. *Efektory průmyslových robotů*. Liberec: Technická univerzita v Liberčí, 2015, s. 5-12. ISBN 978-80-7494-195-5.
- [29] [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/12939/Koncove\\_efektory\\_v\\_prumyslove\\_robotice.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/12939/Koncove_efektory_v_prumyslove_robotice.pdf?sequence=1) FLEKAL, LUKÁŠ. KONCOVÉ EFEKTORY V PRŮMYSLOVÉ ROBOTICE. Brno, 2009. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Aleš pochylý.
- [30] KEYENCE. *Intuitive Vision System: CV-X Series*. 2019.
- [31] NATIONAL INSTRUMENTS. *PRODUCT FLYER: NI Smart Cameras* [online]. 2018 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/product-flyers/smart-cameras.pdf>
- [32] DATALOGIC. *DataVS2* [online]. květen 2013 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <http://datascan.cz/wp-content/uploads/2016/10/datalogic-datavs2.pdf>
- [33] CL Line Scan Camera. *Hikrobotics* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <http://en.hikrobotics.com/vision/visionlist.htm?type=45&screening=All,All,All,All>,
- [34] 8192 P CameraLink Line Scan Camera. *Hikrobotics* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <http://en.hikrobotics.com/vision/visioninfo.htm?type=45&oid=3387>
- [35] Basler 3D Cameras. *BASLER* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/3d-cameras/>
- [36] Integrated Vision: Vision-guided robotics for use by any industry. *ABB* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/vision-systems/integrated-vision>
- [37] Senzor pro vnímání KUKA 3D Perception Sensor. *KUKA* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/periferie-robot%C5%AF/kuka-3d-perception-sensor>
- [38] FlexVision 3D. *ABB* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/vision-systems/flexvision-3d>
- [39] 3D Vision. *FANUC* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/p%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD/vid%C4%9Bn%C3%AD/3d-vision>
- [40] Advanced Intelligent Robot: FANUC Intelligent Robot. *FANUC* [online]. Japan, 2012 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: [https://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/robot/Intelligent\(E\)-05.pdf](https://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/robot/Intelligent(E)-05.pdf)
- [41] VISIONPRO. *Cognex* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-software/visionpro-software>
- [42] VISIONPRO VIDI. *Cognex* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-software/visionpro-vidi>
- [43] Xpectia VISION SYSTEM. *Omron* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: [https://assets.omron.eu/downloads/brochure/en/v1/xpectia\\_vision\\_system\\_brochure\\_en.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/brochure/en/v1/xpectia_vision_system_brochure_en.pdf)
- [44] KUKA ROBOTER GMBH. *KR 5 scara R350, R550: Specification*. Augsburg, 2011.
- [45] CV-200C. <https://www.keyence.com/> [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/products/vision/vision-sys/cv-3000/models/cv-200c/index.jsp?langType=en-US>
- [46] CA-DC100. <https://www.keyence.com/> [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/products/vision/vision-sys/ca-d/models/ca-dc100/index.jsp>
- [47] CA-DRW10F. <https://www.keyence.com/> [online]. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/products/vision/vision-sys/ca-d/models/ca-drw10f>
- [48] CV-5501P. <https://www.keyence.com/> [online]. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <https://www.keyence.co.uk/products/vision/vision-sys/cv-5000/models/cv-5501p/index.jsp>
- [49] SCHUNK. Gripper for small components MPG-plus 40. *SCHUNK* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0020084.PDF>

## **Seznam výkresové dokumentace**

Celková sestava: 3-BP S18000369-1

Příruba: 3-BP S18000369-1-1

Prst: 4-BP S18000369-1-2

Držák kamery 1: 3-BP S18000369-1-3

Držák kamery 2: 3-BP S18000369-1-4

Držák kamery 3: 4-BP S18000369-1-5

Držák kuličkodráhy 1: 3-BP S18000369-1-6

Držák kuličkodráhy 2: 3-BP S18000369-1-7

Držák kuličkodráhy 3: 3-BP S18000369-1-8

Vana 1: 3-BP S18000369-1-9

Vana 2: 3-BP S18000369-1-10